

地球シミュレーターによる シミュレーションについて

2006年10月13日

独立行政法人建築研究所
足永靖信

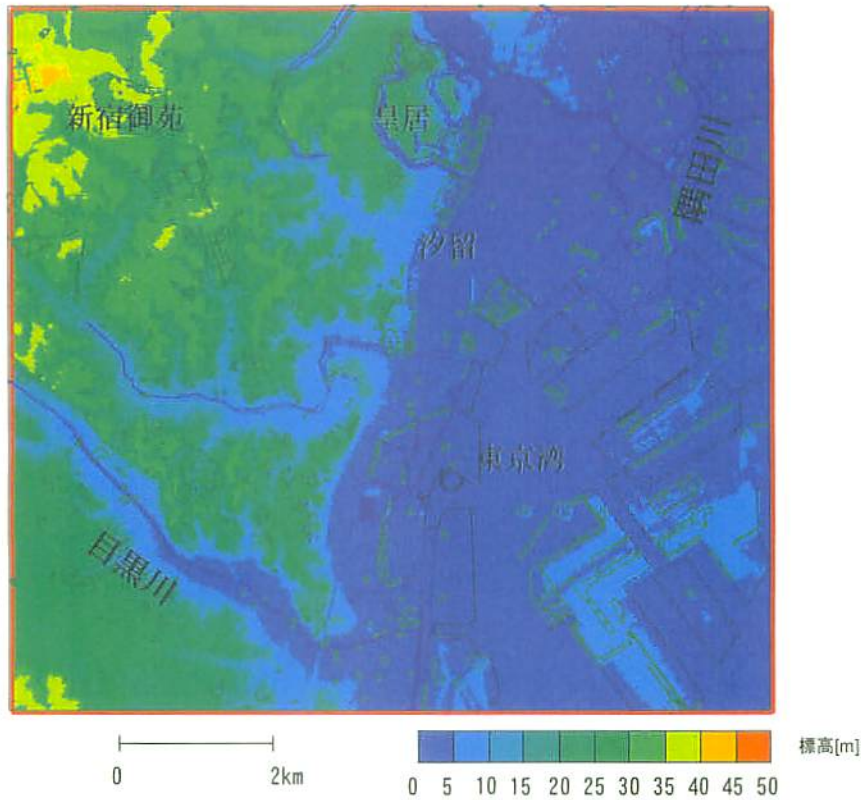
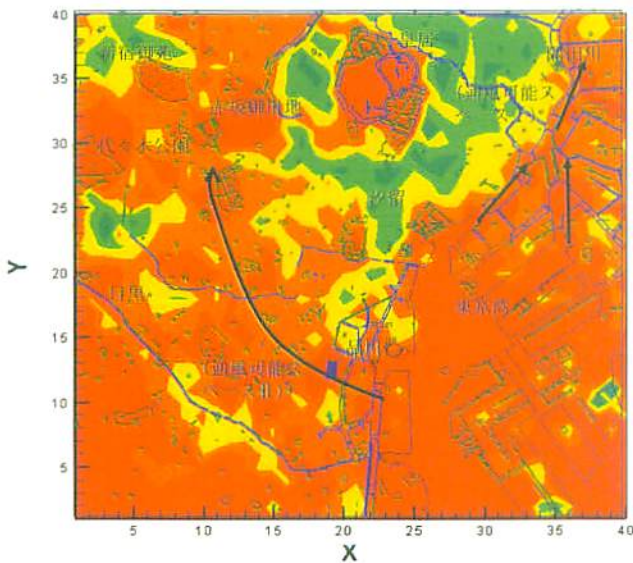


図1 東京臨海部の標高(10km四方)

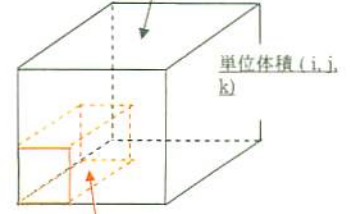
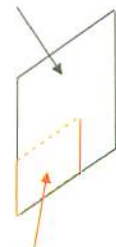


通風可能スペースの定義(暫定)

- ①有効体積率や面積開口率の値が他の市街地よりも相対的に大きいこと
- ②海上から都市内に連続して存在すること
- ③海風の吹く方向と符合すること

面積 (xの負の方向から見た場合の建物で覆られていない面積)、 $dy dz - S$

体積 (単位体積内の流体部分)、 $dx dy dz - V$



側面積S (建物をx方向から見る)

体積 (単位体積内の固体部分)、V

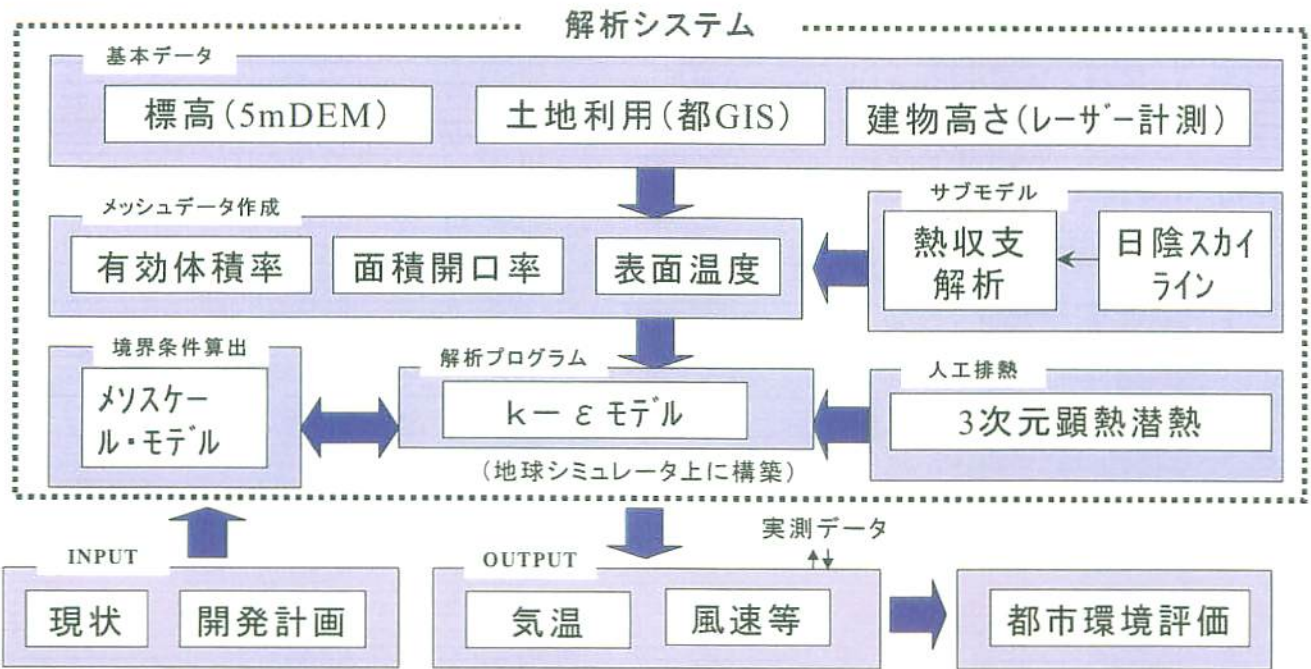


面積開口率

有効体積率

図2 通風可能スペースの抽出

* 地上10mにおける面積開口率水平分布(水平250m、鉛直1mのメッシュ分割によるX方向の面積開口率の値)



○最適化現状 (2006.9)

- ・計算規模 120ノード
- ・ベクトル化率 98.801%
- ・並列化効率 63.06%
- ・ピーク性能 20.3%

図3 解析の流れ



建物高さの事例 (5mメッシュ)

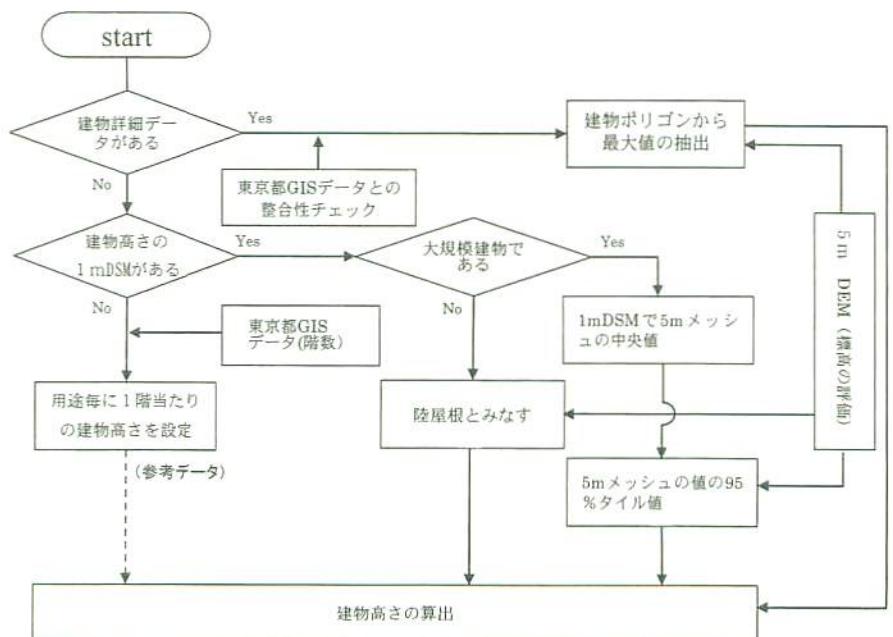


図4 航空機レーザー計測データ (1mDSM、国土地理院提供) による建物高さの判別

図5 基礎方程式

【連続の式】

$$G_V \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho u_j) = 0$$

【運動方程式】

$$G_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho u_i u_j) = -G_V \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[G_A (\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + G_V \rho g_i + G_V \rho F_i + G_V \rho f \varepsilon_{ijk} u_k$$

【エネルギー輸送方程式】

$$C_p \left[G_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho \theta) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho \theta u_j) \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[G_A \left(\lambda + \frac{C_p \mu_T}{Pr_T} \right) \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right] + \frac{1}{P} \left[\sum \frac{S_j F_j}{V} + Q_S \right]$$

【水蒸気輸送方程式】

$$G_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho q) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho q u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[G_A \left(\frac{\mu}{Sc} + \frac{\mu_T}{Sc_T} \right) \frac{\partial q}{\partial x_j} \right] + \left(\sum \frac{S_q F_q}{V} + \frac{Q_L}{L} \right)$$

【乱流エネルギー輸送方程式】

$$G_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[G_A \left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_V (P_k + G_k - \rho \varepsilon + \rho u_j F_j)$$

【乱流エネルギー散逸率輸送方程式】

$$G_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[G_A \left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + G_V \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k + C_{\varepsilon 3} G_k - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon + C_{\rho \varepsilon 1} \rho u_j F_j)$$

ここで

$$F_i = a C_d u_i \sqrt{u_j^2}$$

$$F_j = a C_d \left(\sqrt{u_j^2} \right)^3$$

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

$$P_k = \left[\mu_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

$$G_k = \frac{\mu_T}{Pr_T} \frac{g_i}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x_i} + \frac{\mu_T}{Sc_T} \frac{g_i}{R} \left(\frac{R_0}{M_v} - \frac{R_0}{M_a} \right) \frac{\partial q}{\partial x_i}$$

(記号) a : 葉面積密度(=1.5[m²m⁻³]), C_d : 樹冠の抵抗係数(=0.2), C_p : 定圧比熱[Jkg⁻¹K⁻¹], F_q : 湿気流束[kgm⁻²s⁻¹], F_S : 対流顕熱流束[Wm⁻²], f : コリオリパラメータ($f = -2\Omega \sin \phi$, Ω : 角速度[rads⁻¹], ϕ : 緯度[rad]), g : 重力加速度[ms⁻²], G_A : 計算格子界面での開口率[-], G_V : 計算格子中心での流体体積占有率[-], k : 乱流エネルギー[m²s⁻²], L : 水の蒸発潜熱[Jkg⁻¹], M_a : 乾燥空気分子量[kgmol⁻¹], M_v : 水蒸気分子量[kgmol⁻¹], p : 気圧[Pa], P : Exner関数, Pr_T : 乱流Prandtl数, q : 比湿[kgkg⁻¹], Q_L : 人工排熱(潜熱)[Wm⁻³], Q_S : 人工排熱(顕熱)[Wm⁻³], R : 気体定数[Jkg⁻¹K⁻¹], R_0 : 普通気体定数[Jmol⁻¹K⁻¹], Sc : Schmidt数(=0.5), Sc_T : 乱流Schmidt数(=0.9), S_q : 対流顕熱の放熱面積[m²], S_θ : 湿気の放出面積[m²], T : 気温[K], u_j : 風速の*j*成分[ms⁻¹], V : 解析セルの体積[m³], ε : 乱流エネルギー散逸率[m²s⁻³], ε_{ijk} : エディントン[-], θ : 温度[K], λ : 空気熱伝導係数[Wm⁻¹K⁻¹], μ : 空気の粘性係数[Pa·s], μ_T : 乱流粘性係数[Pa·s], ρ : 密度[kgm⁻³]

(定数) $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$, $C_{\varepsilon 1} = 1.44$, $C_{\varepsilon 2} = 1.3$, $C_{\varepsilon 3} = C_{\varepsilon 1} (G_k \geq 0)$, $C_{\varepsilon 3} = 0 (G_k < 0)$, $C_{\rho \varepsilon 1}$: ε 方程式の樹木抵抗項にかかる補正係数(=1.8)

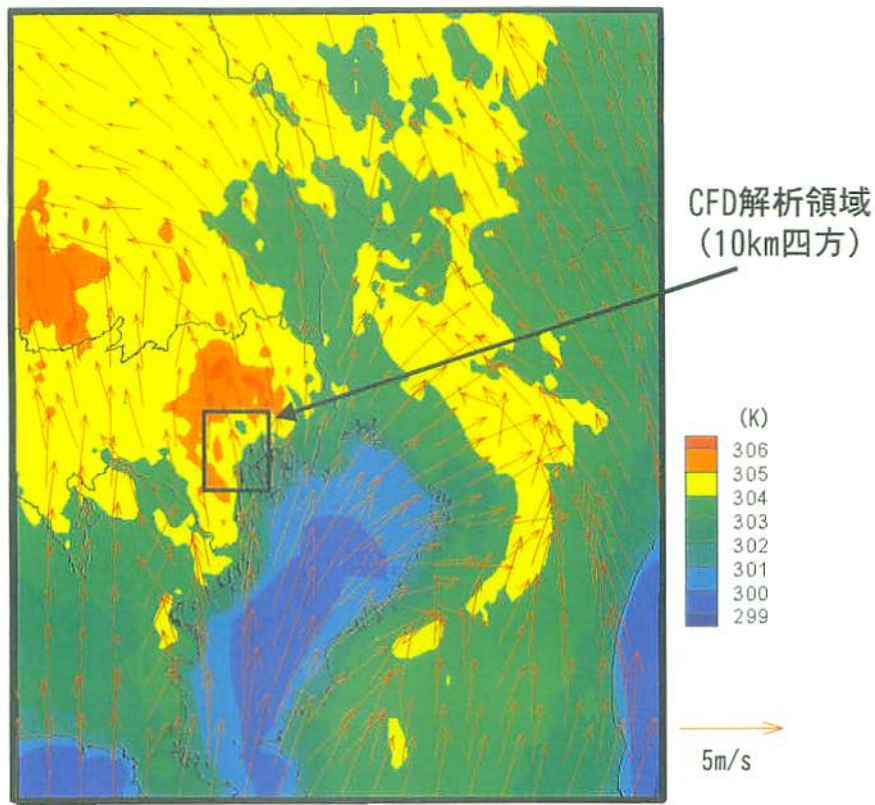
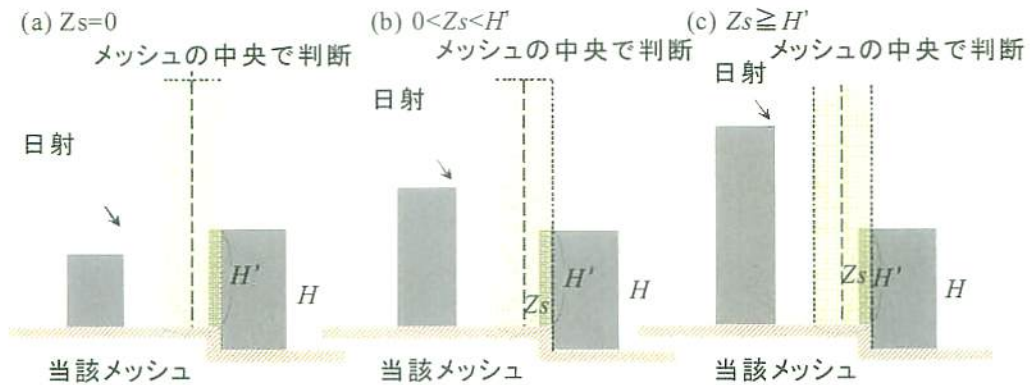


図6 メソスケール計算結果(LOCALSによる)
風速および温位分布 (2005年7月31日14時、地上10m)



ケース	Z_s と H' の関係	地表面	建物壁面 (日射に面する)	建物屋上
(a)	$Z_s=0$	日向	日向	日向
(b)	$0 < Z_s < H'$	日陰	Z_s 以上が日向 Z_s 未満が日陰	日向
(c)	$Z_s \geq H'$	日陰	日陰	日陰

日当たり有無と土地被覆から表面温度を固定条件で与える

※日射に面しない建物壁面は全て日陰
 Z_s : 判定当該メッシュの日射到達地上高さ、 H : 建物高さ(階数×3.5m)、 H' : 判定当該メッシュの地上からの建物高さ

図7 日射到達高さの簡易判定

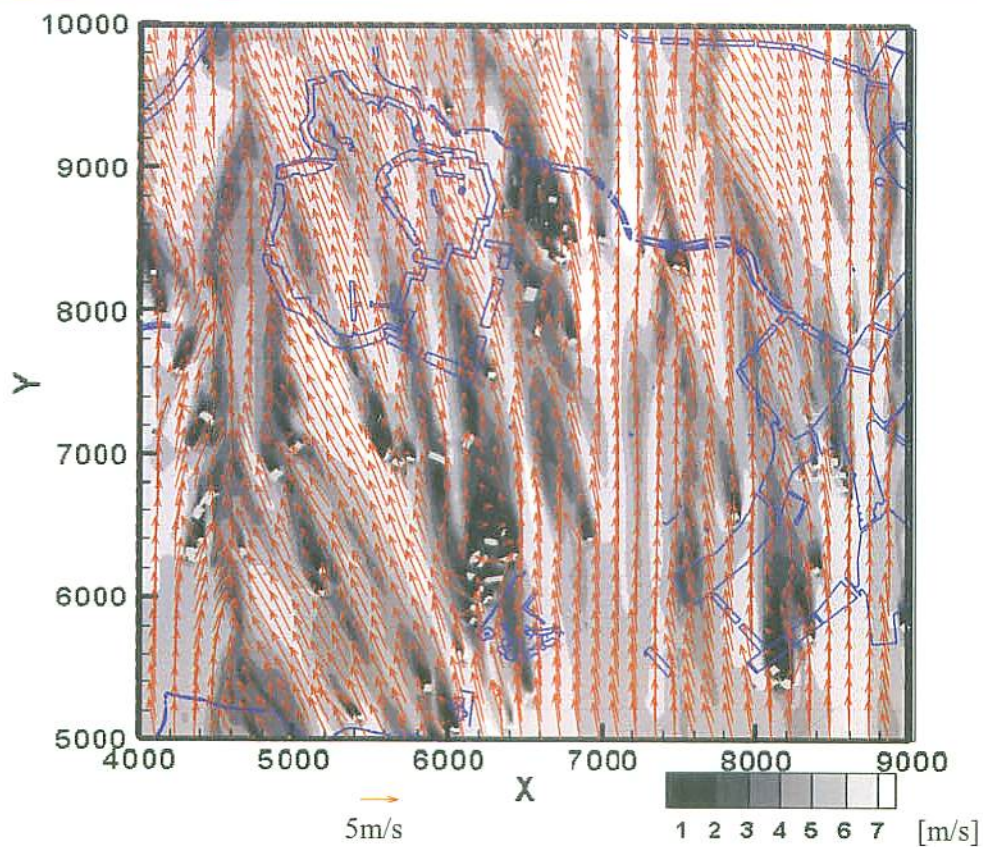


図8 地上100mの風速分布(2005年7月31日14時、5km四方を表示)

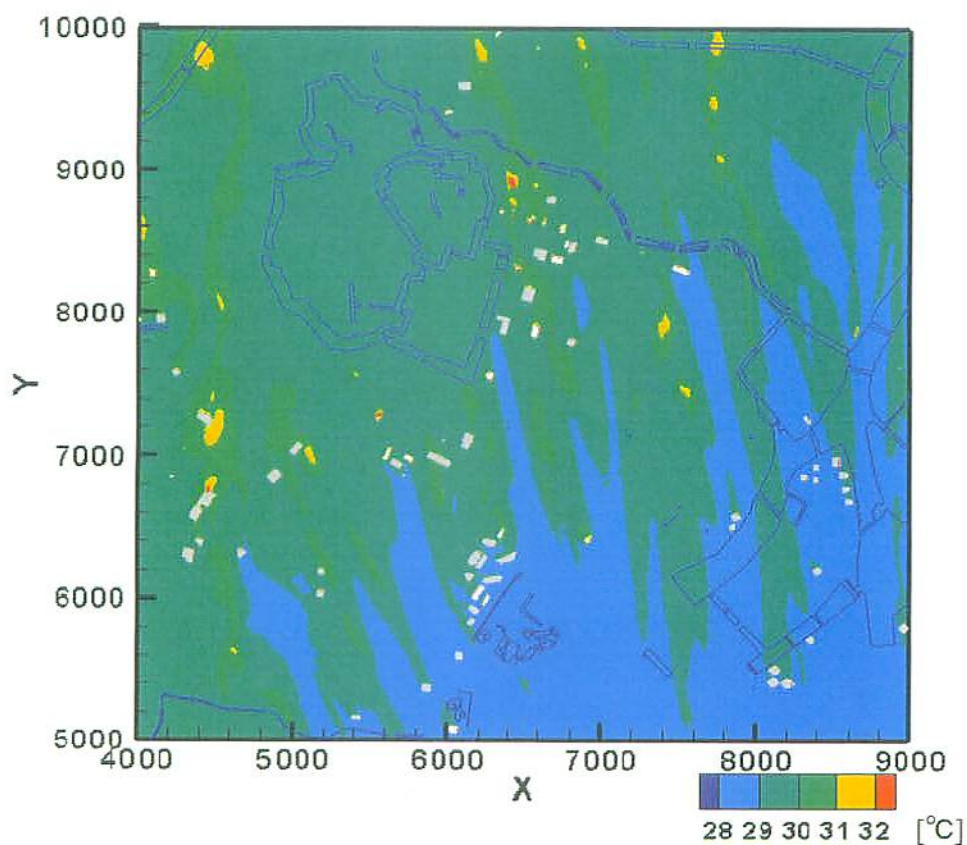


図9 地上100mの気温分布(2005年7月31日14時、5km四方を表示)

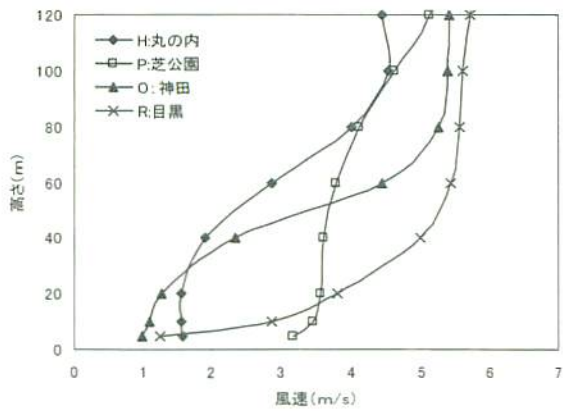


図10 4地区における
風速の鉛直分布
(2005年7月31日14時)

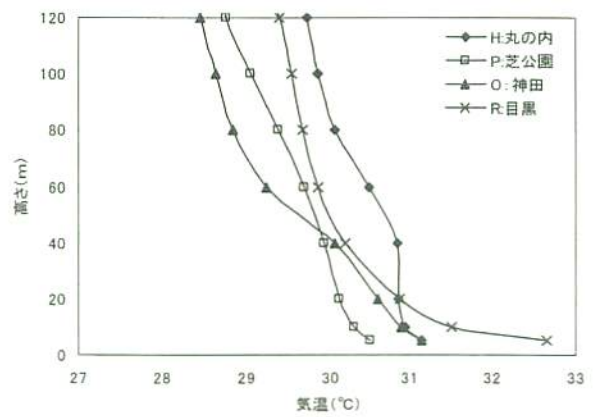


図11 4地区における
気温の鉛直分布
(2005年7月31日14時)

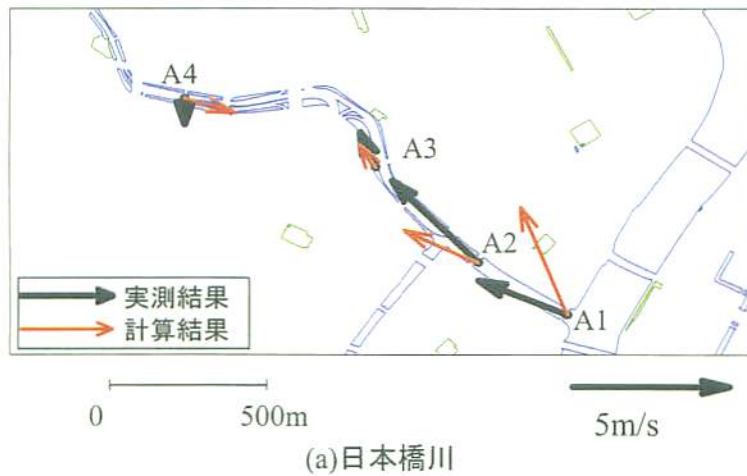
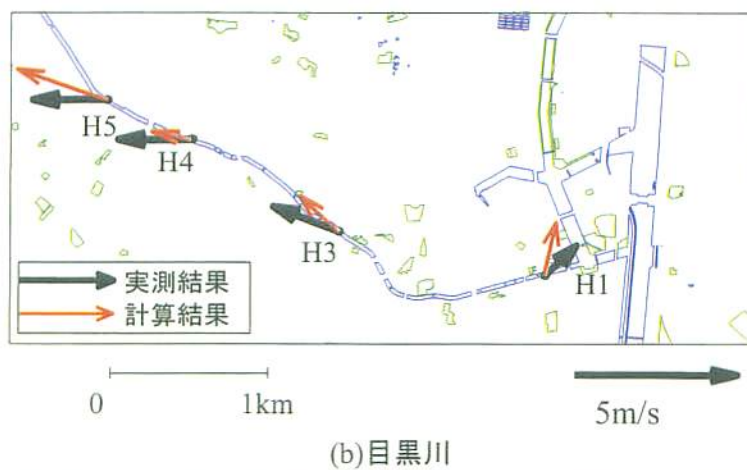
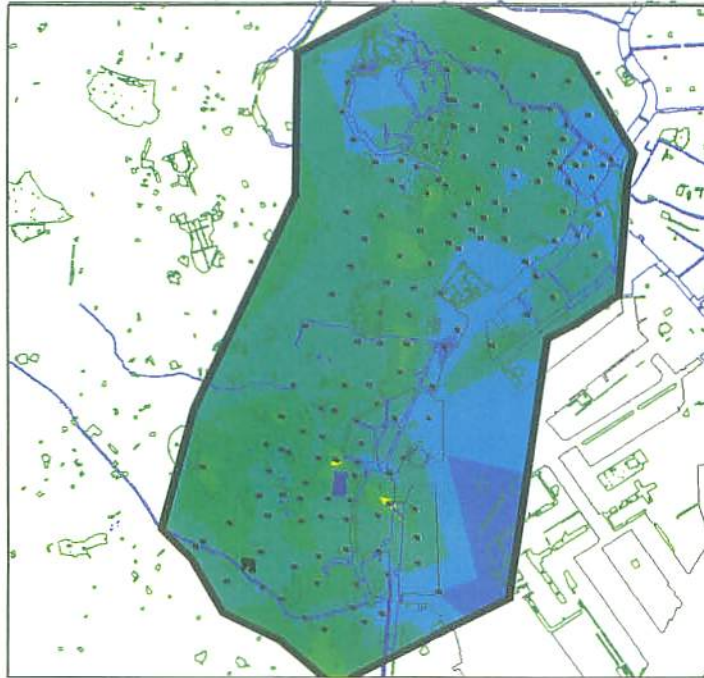


図12 河川に
おける風速の
実測結果と解
析結果の比較
(2005年7月31日14時)

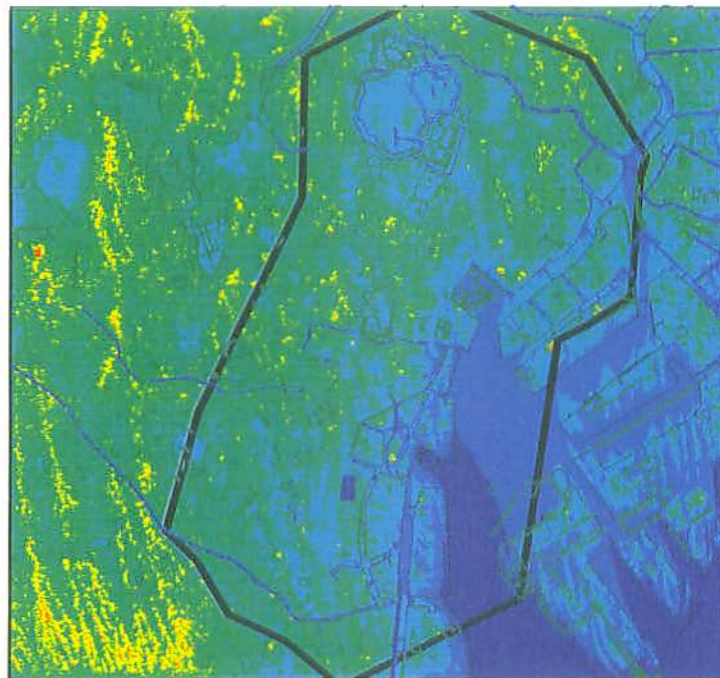




[°C] 29 30 31 32 33 34 35 36

図13 気温分布の
実測結果

(2005年7月31日
14時)



[°C] 29 30 31 32 33 34 35 36

図14 気温分布の
数値解析結果

(2005年7月31日
14時)



T: 29.5 30.0 30.5 31.0 31.5

図15 銀座周辺の気温分布
(2005年7月31日14時、地上10m)

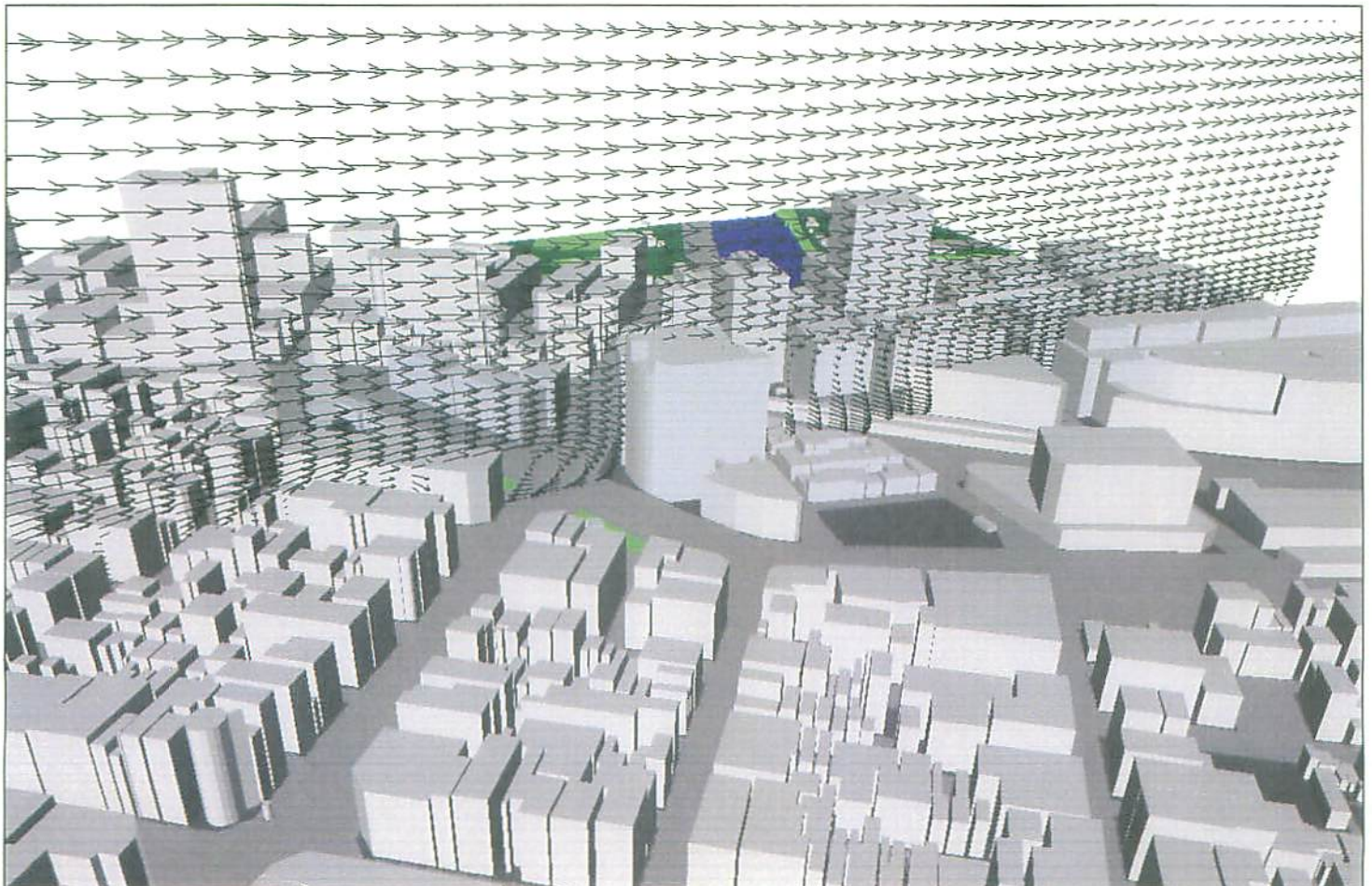


図16 有楽町周辺の風の流れ(2005年7月31日14時)



図17 風速分布図(2005年7月31日14時、標高10m)

まとめ

- 1 都市の詳細な凹凸、建築土地利用配置を入力条件、地域気象データを境界条件とする気温、風の数値解析ツールを地球シミュレータ上に構築した。
- 2 開発した数値解析ツールを活用し、東京臨海部の10km四方を対象にした大規模数値解析を実施した。
- 3 気温の数値解析結果と実測結果を比較した結果、140地点のRMS誤差は 1°C であった。川沿いの風は概ね一致した。